

Universidade de Brasília - UnB
Faculdade UnB Gama - FGA
Curso de Engenharia de Energia

**O IMPACTO DA INSTALAÇÃO DE PAINÉIS FOTOVOLTÁICOS
FLUTUANTES NA EVAPORAÇÃO DA ÁGUA DE LAGOS DE
GRANDES USINAS HIDRELÉTRICAS BRASILEIRAS.**

Autor: Luan de Oliveira Nolêto
Orientador: Augusto César de Mendonça Brasil
Brasília, DF

2017



Luan de Oliveira Nolêto

O impacto da instalação de painéis fotovoltaicos flutuantes na evaporação da água de lagos de grandes Usinas Hidrelétricas brasileiras.

Monografia submetida ao curso de graduação em Engenharia de Energia da Universidade de Brasília, como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia de Energia.

Orientador: Prof. Dr. Augusto César de Mendonça Brasil

Brasília, DF

2017

CIP – Catalogação Internacional da Publicação*

Nolêto, Luan de Oliveira.

O impacto da instalação de painéis fotovoltaicos flutuantes na evaporação da água de lagos de grandes Usinas Hidrelétricas brasileiras. / Luan de Oliveira Nolêto. Brasília: UnB, 2017. 34 p. : il. ; 29,5 cm.

Monografia (Graduação) – Universidade de Brasília

Faculdade do Gama, Brasília, 2017. Orientação: Augusto César de Mendonça Brasil.

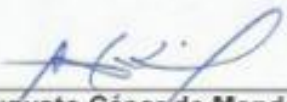


1. Energia. 2. Solar. 3. Lagos. 4. Usinas Hidrelétricas. I. Brasil, Augusto César de Mendonça. II. O impacto da instalação de painéis fotovoltaicos flutuantes na evaporação da água de lagos de grandes Usinas Hidrelétricas brasileiras.

CDU Classificação

**REGULAMENTO E NORMA PARA REDAÇÃO DE RELATÓRIOS DE PROJETOS
DE GRADUAÇÃO FACULDADE DO GAMA - FGA**

Luan de Oliveira Nolêto

Monografia submetida como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia de Energia da Faculdade UnB Gama - FGA, da Universidade de Brasília, em 06/07/2017 apresentada e aprovada pela banca examinadora abaixo assinada:


Prof. Dr.: Augusto César de Mendonça Brasil, UnB/ FGA
Orientador

Prof. Dr.: Jorge Andrés Cormane Angarita, UnB/ FGA
Membro Convidado

Prof. Dr. Alex Reis, UnB/ FGA
Membro Convidado
Brasília, DF
2017

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todos que fizeram parte da minha vida acadêmica, de forma especial aos meus familiares e amigos que sempre contribuíram diretamente em minha jornada e também a Deus pelas oportunidades oferecidas a cada dia.

RESUMO

Este estudo aborda quais são os meios de mensurar a quantidade que se evitaria de evaporação de água em lagos de hidrelétricas, cobrindo uma determinada superfície dos reservatórios com painéis fotovoltaicos. A perda de nível dos reservatórios de usinas hidrelétricas é uma das preocupações que se tem no cenário energético nacional. As crises hídricas compõe as pautas dos assuntos mais debatidos no Brasil, tornando assim urgente a adoção de medidas para combater os efeitos que atingem diversas regiões do país. Surgindo como uma alternativa de se produzir energia por meio de uma fonte renovável e diversificada, utiliza-se a instalação de painéis fotovoltaicos na superfícies de reservatórios. Esse modelo traz consigo diversos benefícios tais como: o aproveitamento da infraestrutura de transmissão das usinas hidrelétricas, uso de uma área antes inutilizada e a redução da evaporação da água dos lagos.

Palavras-chave: evaporação, painéis fotovoltaicos, reservatórios de usinas

ABSTRACT

This paper addresses which are the means to measure the amount that is avoidable of water evaporation in lakes of hydropower, charging a surface of the reservoirs with photovoltaic panels. The loss of stock of reservoirs of hydroelectric plants and one of the concerns that has no national energy scenario. As water crises, it composes as a pattern of the debates debated in Brazil, thus making it urgent to adopt measures to combat the effects produced by different regions of the country. Emerging as an alternative energy production through a renewable and diversified source, use the installation of photovoltaic panels on the surfaces of reservoirs. This model brings with it several benefits such as: the use of the transmission infrastructure of hydroelectric power plants, the use of a previously unused area and a reduction of lake water evaporation.

Key words: evaporation, photovoltaic panels, hydroelectric power plants

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Matriz de Capacidade Instalada de Geração de Energia Elétrica.....	11
Figura 2- Painéis Fotovoltaicos Flutuantes no reservatório Rainha Elizabeth II	12
Figura 3 - Início da usina solar flutuante construída em Balbina	13
Figura 4 - Esquematização de uma planta solar flutuante em uma usina hidrelétrica	15
Figura 5- Projeção dos preços de produção de energia de algumas fontes.....	16
Figura 6 - Localização das Usinas Hidrelétricas estudadas no mapa do Brasil.....	21
Figura 7 - Dados de Irradiação solar diária média mensal de Tucurí – PA.....	23
Figura 8 - Dados de Irradiação solar diária média mensal de Foz do Iguaçu – PR.....	23
Figura 9 - Dados de Irradiação solar diária média mensal de Três Lagoas – MS.....	24
Figura 10 - Dados de Irradiação solar diária média mensal de Paulo Afonso - BA.	25
Figura 11 - Dados de Irradiação solar diária média mensal de Capinópolis – MG.	25
Figura 12 - Dados de Irradiação solar diária média mensal de Campo Novo dos Parecis – MT.....	26
Figura 13 - Dados de Irradiação solar diária média mensal de Manaus – AM.....	27

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Especificidades das usinas analisadas	14
Tabela 2 - Irradiação Diária Média e Incremento Máximo em cada usina	28
Tabela 3- Área coberta e percentual de cobertura em cada usina.....	29
Tabela 4- Irradiação Diária Máxima e Incremento Máximo em cada usina	30
Tabela 5- Irradiação Diária Mínima e Incremento Mínimo em cada usina	30
Tabela 6- Fração de evaporação da área descoberta e a Redução de eficiência de evaporação	31
Tabela 7- Irradiação Diária Máxima e o Incremento Produtivo	31
Tabela 8- Irradiação Diária Mínimo e o Incremento Produtivo	32

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	11
1.1 Motivação.....	13
1.2 Objetivo.....	16
1.2.1 Objetivos específicos.....	16
2 REFERENCIAL TEÓRICO.....	17
2.1 Evaporação.....	17
2.2 Evaporação com cobertura parcial	18
3 METODOLOGIA.....	20
3.1 Estudo de caso.....	21
3.2 Potencial por unidade de área	22
3.2.1 Usina Hidrelétrica de Tucuruí	22
3.2.2 Usina Hidrelétrica de Itaipu.....	23
3.2.3 Usina Hidrelétrica de Ilha Solteira.....	24
3.2.4 Usina Hidrelétrica de Paulo Afonso.....	24
3.2.5 Usina Hidrelétrica de Itumbiara.....	25
3.2.6 Usina Hidrelétrica de Teles Pires.....	27
3.2.7 Usina Hidrelétrica de Balbina.....	27
3.2.8 Comparativo do recursos disponível e do Incremento produtivo desejado.....	28
3.3 Área de lago à ser coberta.....	29
4 RESULTADOS.....	30
5 CONCLUSÃO.....	32
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	33

1. INTRODUÇÃO

A dependência que os seres vivos tem da água é fato inerente no desenvolvimento das espécies ao longo da história. Com o passar do tempo as necessidades da população humana se diversificaram, e a água segue sendo o insumo básico para suprir a grande maioria das demandas da sociedade. Diante deste fato se torna evidente a imprescindibilidade de se buscar gerir da maneira mais adequada possível os recursos visando evitar o surgimento de crises relacionadas à falta de recursos hídricos para os mais diversos fins.

Segundo Schultz (2014), o consumo energético segue, entre outros aspectos, a linha de crescimento da população como um todo. Esse crescimento é composto, basicamente, pelo aumento populacional em si e pelo desenvolvimento e acesso à novas tecnologias consumidoras de energia.

Analisando o contexto nacional se nota que os dois principais insumos da sociedade citados acima estão estritamente relacionados. O Brasil possui uma destacada posição no cenário internacional, tendo em vista que na matriz de capacidade instalada de geração de energia elétrica, subconjunto da matriz energética o país apresenta 80,9% da sua composição em fontes renováveis de energia, grande parcela desse valor em decorrência das grandes usinas hidrelétricas (UHEs), sendo que no mundo esse indicador se apresenta com valor médio de 24,1%. (MME – Boletim Mensal de Energia – 03/2017)

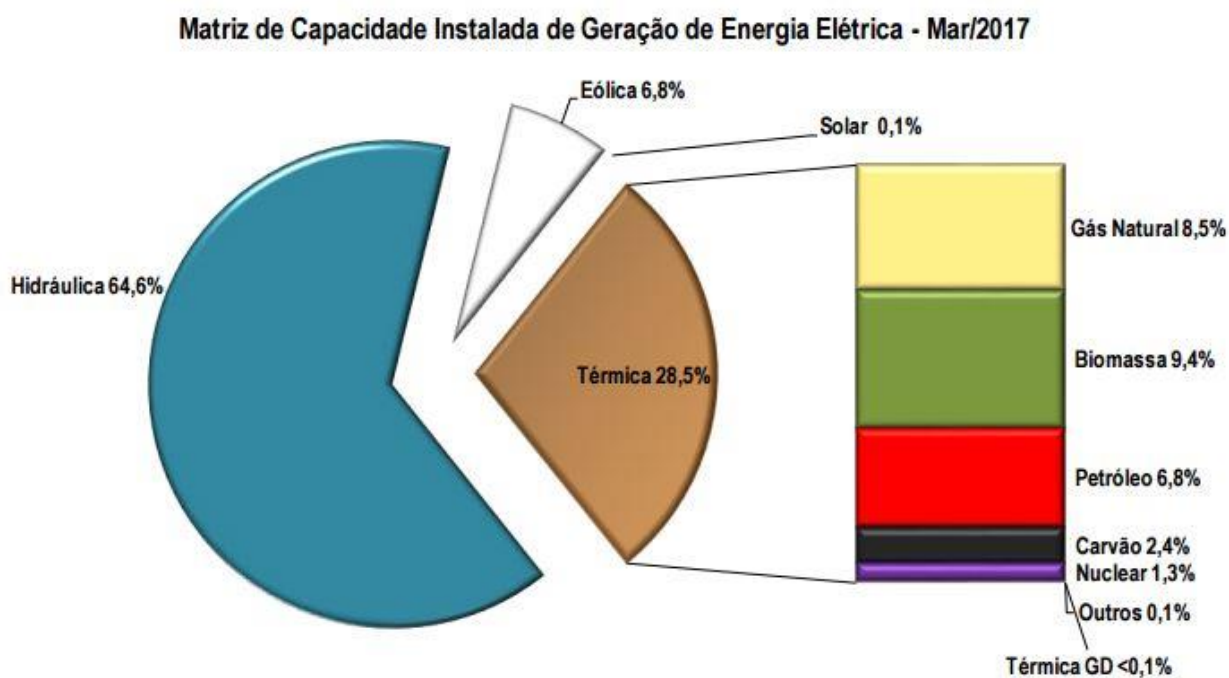


Figura 1 : Matriz de Capacidade Instalada de Geração de Energia Elétrica - Mar/2017.
Fonte: Boletim Mensal de Energia– MME.

Nos lagos e reservatórios, a evaporação é um dos principais processos componentes dos balanços hídrico e térmico. Os reflexos da evaporação dos reservatórios, na gestão da água, variam com a localização, com as diferenças climáticas, com as características do reservatório e com as práticas de uso e manejo. (Wurbs & Ayala, 2014).

A instalação de painéis fotovoltaicos sobre superfícies aquáticas começou a ganhar destaque no mundo em 2011, quando as primeiras experiências usando tal técnica se iniciaram e desde então diversos países implantaram sistemas baseados nessa nova tendência de se produzir energia através do recurso solar. Dentre as vantagens que sistemas assim trazem podemos destacar o incremento produtivo de energia, o baixo impacto ambiental, a não ocupação de terras e a redução da perda de água por evaporação.

Todos esses atrativos listados acima chamaram a atenção de diversos países, sendo que o primeiro a botar em prática um empreendimento com tais características foi o Japão, no reservatório de Yamakura. Merece destaque também o projeto do reservatório Queen Elizabeth II, em Heathrow, que contém um arranjo com 23 mil painéis, cobrindo apenas 6% da área do lago, e que serve como fonte de energia para o tratamento de água que abastece cerca de 10 milhões de pessoas no arredores de Londres.



Figura 2: Painéis Fotovoltaicos Flutuantes no reservatório Rainha Elizabeth II. Fonte: LIGTHSOURCE / BBC

No Brasil já existem projetos pilotos seguindo esse modelo de sistemas mas com a especificidade de estarem localizados nos lagos formados pelas barragens das Usinas Hidrelétricas de Balbina e Sobradinho, localizadas no Amazonas e na Bahia, respectivamente. A iniciativa é motivada pelos benefícios listados anteriormente e também pelo aproveitamento das subestações, linhas de transmissão e demais aparatos que já existem nas estruturas de operação das hidrelétricas, bem como pelo incremento produtivo surgir como uma forma de mitigar os efeitos causados pelo homem, especialmente nesses casos em que a capacidade produtiva foi sobredimensionada, ou seja, as turbinas geram uma quantidade menor do que deveriam.



Figura 3: Início da usina solar flutuante construída em Balbina. Fonte: Ive Rylo / G1 AM.

O escopo do trabalho está concentrado na forma de se mensurar o quanto em percentual de volume de água se evita de perder por evaporação ao se instalar painéis fotovoltaicos flutuantes, visando assim combater a causa do maior parcela de perdas de água, superando a soma do desperdício e das falhas na distribuição.

1.1 MOTIVAÇÃO

Os recorrentes debates relacionados ao uso de fontes renováveis de energia e à gestão hídrica atestam a relevância com a qual se deve abordar tais assuntos. A dependência das sociedades pela água e pelos recursos oriundos dela, como grande parte da energia elétrica produzida no Brasil, são tão atuais como foram a milhares de anos atrás.

A idéia de abordar a questão do quanto se pode evitar que se perca em termos de volume de água instalando painéis em estruturas flutuantes é baseada na constatação da redução das taxas de evaporação ao serem dispostos corpos flutuantes que cubram uma determinada área.

Segundo White (2010), até o ano de 2003, o volume total dos reservatórios de todo o mundo era de aproximadamente 6700 km³. De acordo com Assouline et al (2010) A

evaporação é o principal processo de perda natural de água das instalações de armazenamento, tornando as mesmas as maiores consumidoras da água que comportam.

Colocação	Usina	Energia Gerada (KWh)	Área de Lago (m²)	Município
1	Tucuruí	8.535.000	2.414.000.000	Tucuruí - PA
2	Itaipu	7.000.000	1.350.000.000	Foz do Iguaçu - PR
3	Ilha Solteira	3.444.000	1.195.000.000	Ilha Solteira - SP Selvíria - MS
4	Jirau	3.375.000	258.000.000	Porto Velho - RO
5	Xingó	3.162.000	60.000.000	Canindé de São Francisco - SE Piranhas - AL
6	Santo Antônio	3.150.760	421.000.000	Porto Velho - RO
7	Paulo Afonso	2.462.400	12.900.000	Delmiro Gouveia - AL Paulo Afonso - BA
8	Itumbiara	2.080.500	778.000.000	Araporã - MG Itumbiara - GO
9	Teles Pires	1.819.800	135.600.000	Jacareacanga - PA Paranaíta - MT
10	São Simão	1.710.000	722.250.000	Santa Vitória - MG São Simão - GO
68	Balbina	250.000	2.360.000.000	Presidente Figueredo - AM

Tabela 1: Especificidades das usinas analisadas. Fonte: Agência Nacional de Energia Elétrica, 2016.

A instalação de sistemas fotovoltaicos flutuantes surge como uma alternativa de se estabelecer um sistema de geração distribuída, economizando a água que movimentaria as comportas dos reservatórios com o incremento produtivo que se gera através da fonte solar durante o dia. Nesse sentido, Galdino (2015, p. 14) ressaltar que a dinâmica da oferta do recurso solar é muito mais propensa à variações, tendo em vista que mudanças climáticas imediatas já podem causar grande impacto na disponibilidade do recurso, e como consequência a produção através da energia fotovoltaica deve ser considerada uma fonte independente da geração hidrelétrica

De acordo com as determinações legais brasileiras os transformadores de alta tensão devem ser capazes de suportar uma sobrecarga diária de 120% durante 4 horas ou 140% durante 30 minutos. A infraestrutura já existente em uma usina hidrelétrica pode ser efetivamente compartilhada já que uma usina fotovoltaica que opera em condições tropicais, mesmo com o efeito do arrefecimento devido à evaporação, não operaria em sua potencial nominal por um período superior à 30 minutos em um dia. (GALDINO, p. 15, 2015)

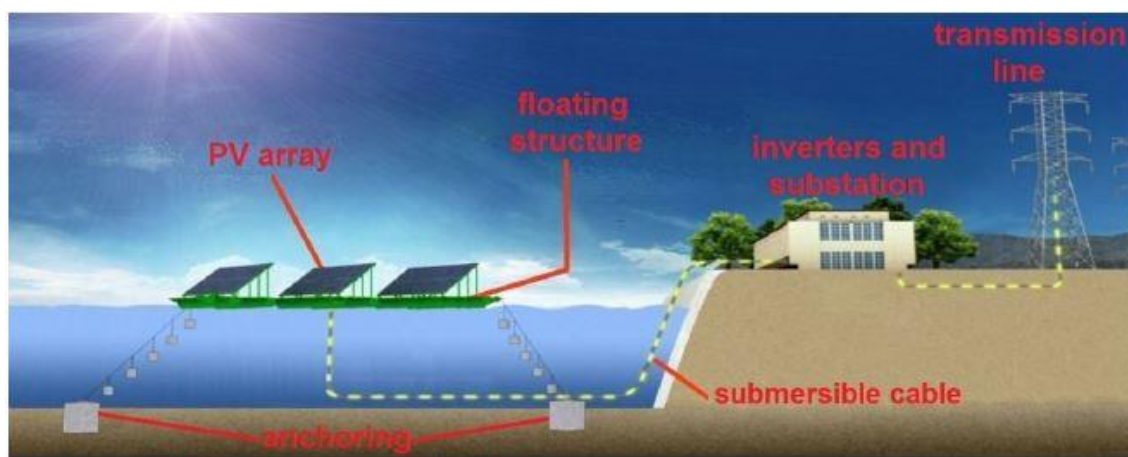


Figura 4: Esquemática de uma planta solar flutuante em uma usina hidrelétrica. Fonte: Marco Antonio Galdino / 2017.

O custo da energia solar segue surgindo como empecilho para a uma maior utilização, especialmente no Brasil, onde não se tem polos de produção efetiva e a grande maioria dos equipamentos necessários são importados de países como China e Alemanha. Analisando o gráfico abaixo é possível notar que os preços caíram cerca de 62% desde 2009 e seguindo a projeção proposta em 2025 a energia solar deverá ser mais barata que o carvão no valor médio global.

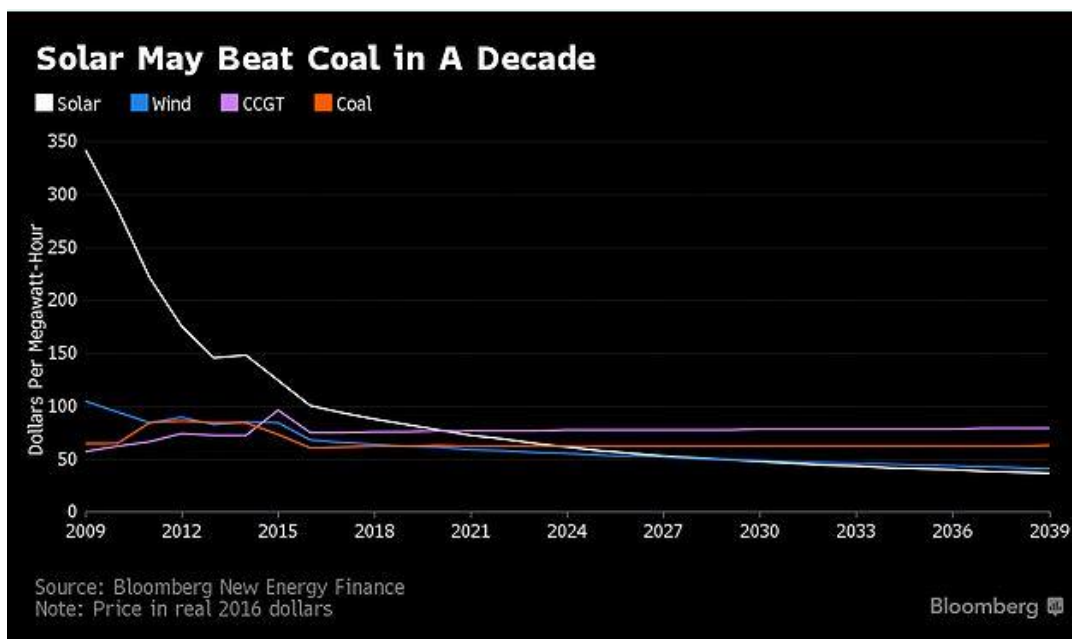


Figura 5: Projeção dos preços de produção de energia de algumas fontes. Fonte: Bloomberg New Energy Finance – 2016.

1.2 OBJETIVO

Este trabalho teve como objetivo realizar uma avaliação dos impactos positivos da instalação de painéis fotovoltaicos flutuantes nas áreas dos lagos de usinas hidrelétricas no Brasil. O presente trabalho visa estudar o impacto do sombreamento da área coberta pelos painéis flutuantes como forma de evitar a evaporação da água dos reservatórios dessas usinas, e o consequente aumento do potencial de geração dessas usinas hidrelétricas. Um estudo de caso foi aplicado às usinas hidrelétricas Tucuruí – PA, Itaipu – PR, Ilha Solteira – SP/MS, Paulo Afonso – AL/BA, Itumbiara – MG/GO, Teles Pires – PA/MT e Balbina – AM), que estão entre as dez maiores produtoras nacionais e que juntas geram 40,88% da energia elétrica nacional.

1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Os objetivos específicos do trabalho são:

- Determinar o potencial de geração existente visando o máximo incremento possível na produção em cada usina sem que haja necessidade de mudanças drásticas nas estruturas já existentes;
- Determinar a área que deve ser coberta para que em cada caso se tenha o incremento produtivo previamente estabelecido;
- Determinar, através do método de levantamento de potencial energético das regiões e das equações de estimativa de evaporação, a quantidade em percentual de água que se evitaria que evaporasse em cada um dos lagos.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 EVAPORAÇÃO

O alcance dos valores de evaporação possibilita analisar a quantidade de água que se perde ou se ganha com a construção de um reservatório (Kan e Dias, 1999). Logo, segundo Pruski et al (2006, p. 347) estimativas confiáveis de evaporação da água de reservatórios são essenciais, tanto no planejamento e gerenciamento dos recursos hídricos como em estudos de impacto ambiental.

Os modelos existentes para se estimar a evaporação em lagos costumam se dividir em duas classes: os que utilizam equações baseadas em informações climatológicas, como os modelos propostos por Linacre (1993) e Kohler et al. (1955), e os que empregam medidas de tanques de evaporação, como a metodologia do tanque Classe A (ECA).

A formulação para a estimativa de evaporação proposta por Linacre (1993) apresenta a simplificação da equação de Penman quando os valores de temperatura média, precipitação e velocidade do vento são conhecidos. A seguinte equação é utilizada:

$$E_L = (0,015 + 0,0042 T + 10^{-6}h)[0,8 R_s - 40 + 2,5 F u_2 (T - T_d)]$$

Onde:

E_L – evaporação no lago, mm/mês

T – temperatura média do ar, °C

T_d – temperatura média do ponto de orvalho, °C

h – altitude do local, m

R_s – irradiância solar na superfície do lago, W/m²

F – fator de correção, adimensional

u_2 – velocidade do vento a 2 m de altura, m/s

O modelo proposto por Kohler et al. (1955) também consiste em uma adaptação da equação de Penman, feita a partir de observações em evaporações em lagos. Usa-se a seguinte equação:

$$E_L = 0,7 \left(\frac{\Delta R_a}{\Delta + \partial_L} + \frac{\partial_l + E_a}{\Delta + \partial_L} \right)$$

Onde:

Δ – declividade da curva de pressão de vapor, saturado, kPa °C⁻¹

R_a – saldo de radiação, em equivalente de lâmina de água evaporada, mm/dia

∂_L – coeficiente psicrométrico corrigido, $\text{kPa } ^\circ\text{C}^{-1}$

E_a – poder evaporante do ar, mm/dia

O modelo que utiliza equação que se baseia em medidas de tanques de evaporação é o método do tanque Classe A. A estimativa de evaporação em um lago feita por este método é dada pela seguinte equação:

$$E_L = C \times ECA$$

Onde:

E_L – evaporação no lago, mm/mês

C – coeficiente do tanque, adimensional

ECA – evaporação no tanque Classe A, mm/mês

Os coeficientes de tanque costumam varia entre 0,6 e 0,8, variando de acordo com as características climáticas da região analisada.

Os métodos apresentados acima representam maneiras de se mensurar a evaporação de lagos tomando como parâmetro inicial toda a sua área, o que os tornam pouco eficientes para o presente trabalho tendo em vista que os painéis fotovoltaicos em debate cobrem apenas uma parcela da área total da superfície dos reservatórios.

2.2 EVAPORAÇÃO COM COBERTURA PARCIAL

Com o aumento do uso de reservatórios para o armazenamento de água também cresceu a necessidade de se encontrar maneiras de evitar a evaporação. Surgiram diversos métodos baseados na cobertura parcial da superfície de água com filmes monomoleculares, tampas de plástico contínuo, capas suspensas e até elementos modulares flutuantes. Avaliando a eficiência da cobertura de evaporação, Cooley (1970, p. 726) definiu que “a porcentagem de redução da evaporação é diretamente proporcional à área coberta”.

No início do século XX começaram a surgir estudos que consideram a difusão de vapor por meio de membranas perfuradas como um sistema modelo para transpiração através de plantas perfuradas por pequenos poros ou “estômatos”. Todos esses estudos tem em comum a sugestão de que a taxa de difusão de vapor através de um poro circular em uma superfície impermeável é proporcional ao raio do poro e não à sua área de superfície evaporante, o que também é conhecida como lei do diâmetro de Stefan.

Em um estudo mais recente, Assouline et al. (2010) comprovou a validade da lei do diâmetro de Stefan considerando a evaporação em vasos de água parcialmente cobertos e sujeitos à condições de laboratório. O principal objetivo foi obter um método eficaz que

apresentasse resultados fidedígnos no que diz respeito à relação proporcional entre a área coberta e a redução da perda de água usando elementos flutuantes.

No estudo de Assouline et al. (2010) , considerando a evaporação em uma superfície não coberta de água com área total A e em uma superfície parcialmente coberta com área A_c , pode-se definir a fração de evaporação da área coberta α como:

$$\alpha = \frac{A_c}{A}, 0 \leq \alpha \leq 1$$

A fração de evaporação da área descoberta fica definida como:

$$\times = 1 - \alpha, 0 \leq \times \leq 1$$

Em um estudo realizado por Assouline et al. (2010), foi observado a supressão de evaporação de membranas perfuradas em condições laboratoriais sobre pequenos vasos de água. Os resultados obtidos mostraram que a evaporação relativa foi bem definida pela seguinte relação:

$$\frac{E_c}{E} = \alpha^{\frac{1}{2}}$$

Então a partir das definições e das equações demonstradas acima a redução da eficiência de evaporação de superfícies parcialmente cobertas pode ser definida como:

$$\varepsilon = \frac{(E - E_c)}{E} = 1 - \frac{E_c}{E}$$

Onde:

E_c – taxa de evaporação na parte coberta;

E – taxa de evaporação na parte descoberta.

A relação entre a eficiência de evaporação ε e a fração de evaporação da área descoberta, com uma única abertura na casa dos decímetros, é definida como:

$$\varepsilon = 1 - (1 - \times)^{\frac{2}{3}}$$

A relação entre a eficiência de evaporação ε e a fração de evaporação da área descoberta, com mais de uma abertura na casa dos centímetros, é definida como:

$$\varepsilon = 1 - (1 - \times)^{\frac{1}{2}}$$

Considerando que o objetivo principal do presente trabalho é encontrar um método que mensure a quanto se deixa de perder de água instalando painéis fotovoltaicos sobre a superfície de lagos, deve se considerar que o arranjo desse sistema terá mais de uma

abertura para a atmosfera e essas não devem ultrapassar 10 cm. Tomando como base essas informações que visam retratar a realidade, o método que será usado para definir a eficiência de evaporação para os lagos das Usinas Hidrelétricas analisadas será o que se baseia no estudo de Assouline et al (2010).

3 METODOLOGIA

A metodologia do presente trabalho visa obter um valor que torne possível mensurar a quantidade de água que se evitará de evaporar ao instalar sistemas fotovoltaicos flutuantes nos lagos de cada uma das seis usinas anteriormente definidas e estudadas. Alguns motivos levaram à escolha proposital das seis usinas, como o fato de fazerem parte da lista das dez maiores produtoras em valores de potência fiscalizada e estarem espalhadamente instaladas em quatro regiões do país (Norte, Nordeste, Sudeste e Centro-Oeste).

Será utilizada uma formulação desenvolvida em um trabalho TCC 1, que buscou mensurar o potencial energético através do recurso solar disponível na região de lagos de grandes usinas hidrelétricas brasileiras. O objetivo é usar as condições de irradiação solar diária média mensal específicas de cada local para que os resultados estejam o mais próximo da realidade. A fórmula proposta é a seguinte:

$$P = N \times I \times A$$

Onde:

P = Potencial Energético Solar (KWh/dia)

N = Eficiência do painel

I = Irradiação Solar Média Diária Mensal (KWh/dia.m²)

A = Fração da Área do Lago a ser utilizada (m²)

A variável desejada nesse caso será a fração de área do lago a ser utilizada A (m²), tendo em vista que o valor da área total dos lagos já foi obtido e o objetivo final é mensurar a quantidade de água que se evitará ao instalar sistemas fotovoltaicos flutuantes nos lagos através da fórmula que encontra a eficiência de evaporação ε debatida no tópico 2.2. Para o estudo de caso que será visto no item 3.1 a seguir, o valor do potencial energético solar assumido P será o incremento máximo de 40% para a potência gerada em cada uma das usinas analisadas, e como simplificação a eficiência dos painéis será fixada em 15%.

3.1 ESTUDO DE CASO

A escolha das usinas à serem estudadas de forma mais detalhada passou por uma análise de alguns fatores como a localização regional, a potência gerada e a área alagada. Para se obter um levantamento abrangente e coeso foi definido que deveriam ser escolhidas pelo menos uma usina em cada região, priorizando as usinas que fazem parte do grupo das dez maiores produtoras brasileiras, existindo apenas uma exceção à esse critério dentre todas as escolhidas.

Após a definição dos critérios foram selecionadas as seguintes usinas: Tucuruí – PA, Itaipu – PR, Ilha Solteira – SP/MS, Paulo Afonso – AL/BA, Itumbiara – MG/GO, Teles Pires – PA/MT e Balbina – AM, sendo que esta última foi elegida especialmente por ter uma grande área de lago disponível, produzir uma quantidade de energia proporcionalmente baixa e ser objeto de estudo de um projeto piloto já iniciado pelo governo federal.

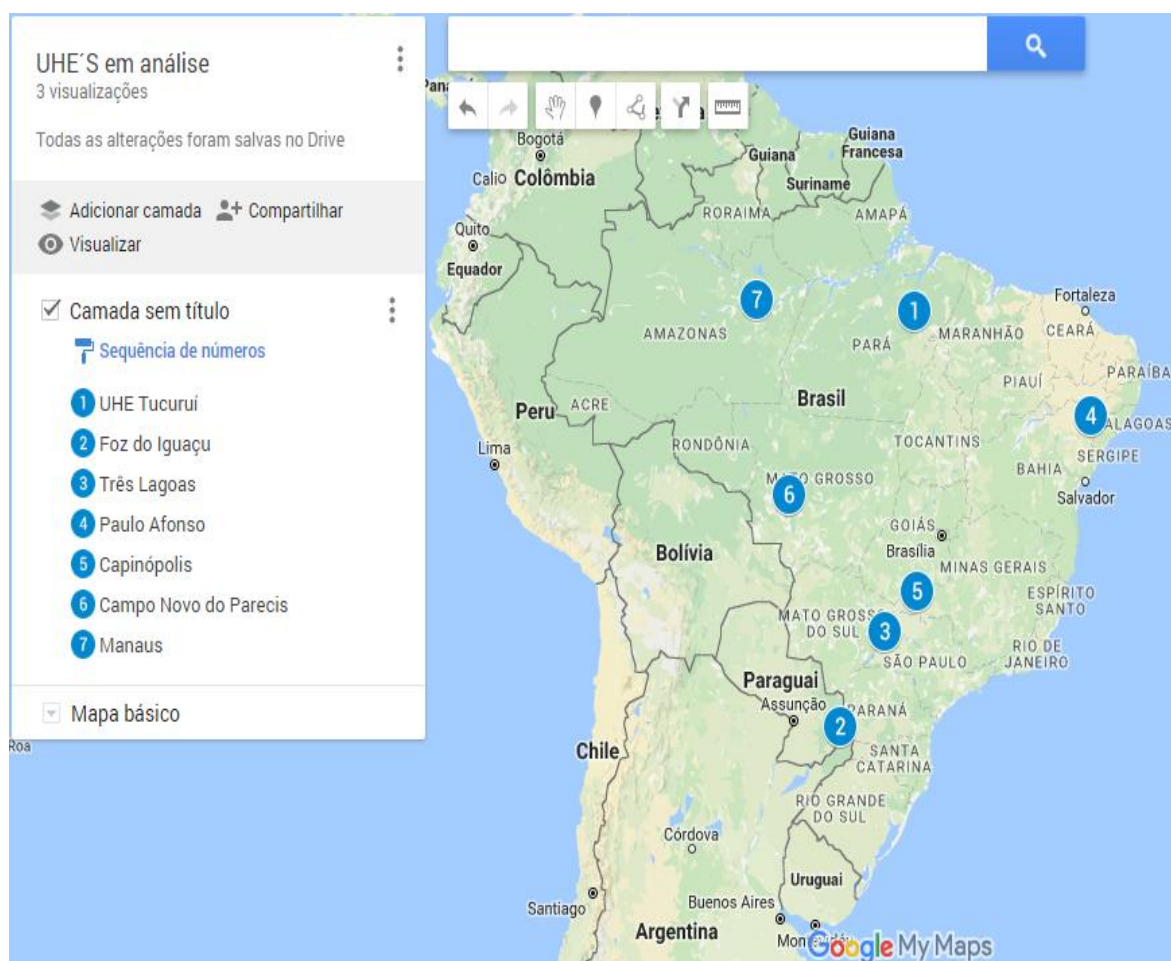


Figura 6: Localização das Usinas Hidrelétricas estudadas no mapa do Brasil.. Fonte: Google Maps.

3.2 POTENCIAL POR UNIDADE DE ÁREA

Neste tópico serão apresentados os dados obtidos para cada uma das usinas estudadas afim de se estabelecer parâmetros que possibilitem mensurar a área coberta necessária para que se tenha o incremento produtivo desejado em cada um dos casos. A grandeza abordada é a irradiação solar diária média mensal, em KWh/m².dia, e adotaremos como valor base para inclinação dos módulos em todos os casos 0°, orientados pelo Plano Horizontal. Serão utilizados três valores para medição, sendo eles o menor, o maior e a média. Foi usado como fonte das informações a bases de dados do Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio Brito – CRESESB.

Se faz necessário ressaltar que os dados são colhidos através das coordenadas geográficas dos municípios onde estão instaladas as usinas e estão disponíveis através estações mais próximas das localidades pesquisadas. Em alguns casos a estação mais próxima das coordenadas inseridas na pesquisa não se encontra no município onde a usina está instalada, sendo que nessas situações serão adotadas as informações das estações com menor distância das usinas dentre as três opções sugeridas pelo Centro de Referência de Energia Solar e Eólica Sérgio Brito – CRESESB visando uma maior confiabilidade nos dados adotados.

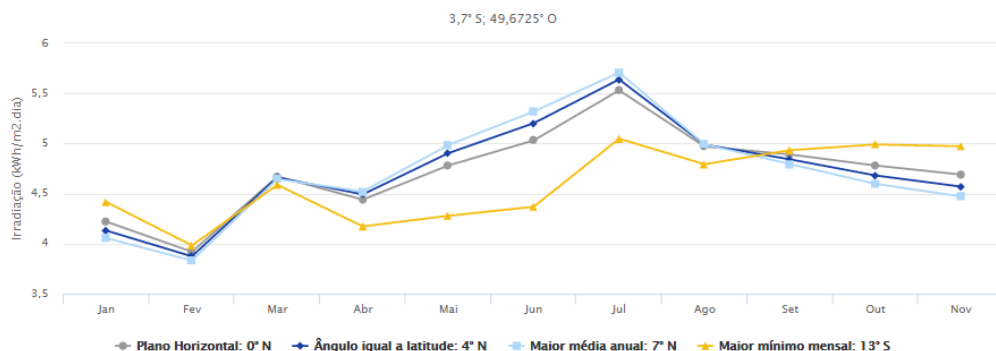
3.2.1 Usina Hidrelétrica de Tucuruí

Na imagem abaixo estão dispostos os dados referentes ao município de Tucuruí, na região central do estado Pará, onde se encontra instalada a usina de mesmo nome, contemplando assim a parte do estudo voltada a região norte do país. O valor médio entre todos os meses da irradiação solar média diária mensal com painéis orientados segundo o plano horizontal é de 4,78 KWh/m².dia sendo possível observar uma variação moderada no decorrer do ano.

Estação: Tucuruí
Município: Tucuruí, PA - BRA
Latitude: 3,7° S
Longitude: 49,6725° O
Distância do ponto de ref. (3,769444° S; 49,674167° O): 7,7 km

#	Ângulo	Inclinação	Irradiação solar diária média mensal [kWh/m².dia]												Média	Delta
			Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez		
✓	Plano Horizontal	0° N	4,22	3,92	4,67	4,44	4,78	5,03	5,44	5,53	4,97	4,89	4,78	4,69	4,78	1,61
✓	Ângulo igual a latitude	4° N	4,13	3,87	4,66	4,49	4,90	5,20	5,62	5,64	4,99	4,84	4,68	4,57	4,80	1,78
✓	Maior média anual	7° N	4,06	3,83	4,65	4,52	4,98	5,32	5,73	5,71	4,99	4,79	4,60	4,47	4,80	1,90
✓	Maior mínimo mensal	13° S	4,42	3,98	4,59	4,17	4,28	4,37	4,75	5,05	4,79	4,93	4,99	4,97	4,61	1,06

Irradiação Solar no Plano Inclinado –Tucuruí-Tucuruí, PA-BRA



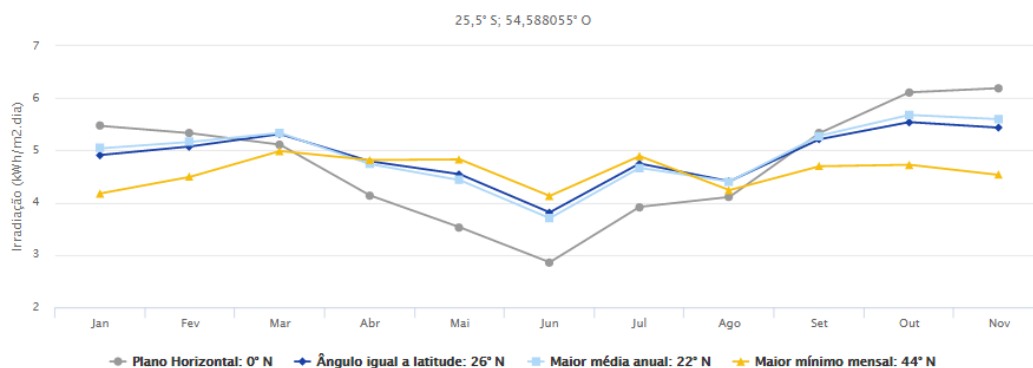
3.2.2 Usina Hidrelétrica de Itaipu

Na imagem abaixo estão dispostos os dados referentes ao município de Foz do Iguaçu, no estado Paraná, onde se encontra instalada a usina hidrelétrica de Itaipu, contemplando assim a parte do estudo voltada a região sul do país. O valor médio entre todos os meses da irradiação solar média diária mensal com painéis orientados segundo o plano horizontal é de 4,61 KWh/m².dia sendo possível observar uma variação considerável no decorrer do ano.

Estação: Foz do Iguaçu
Município: Foz do Iguaçu, PR - BRA
Latitude: 25,5° S
Longitude: 54,588055° O
Distância do ponto de ref. (25,546944° S; 54,588333° O): 5,2 km

#	Ângulo	Inclinação	Irradiação solar diária média mensal [kWh/m².dia]												Média	Delta
			Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez		
✓	Plano Horizontal	0° N	5,47	5,33	5,11	4,14	3,53	2,86	3,25	3,92	4,11	5,33	6,11	6,19	4,61	3,33
✓	Ângulo igual a latitude	26° N	4,91	5,08	5,31	4,79	4,54	3,81	4,29	4,75	4,41	5,21	5,54	5,43	4,84	1,73
✓	Maior média anual	22° N	5,04	5,16	5,33	4,74	4,43	3,70	4,18	4,67	4,40	5,28	5,68	5,60	4,85	1,97
✓	Maior mínimo mensal	44° N	4,18	4,49	4,99	4,82	4,83	4,13	4,62	4,89	4,24	4,70	4,73	4,53	4,59	,86

Irradiação Solar no Plano Inclinado –Foz do Iguaçu-Foz do Iguaçu, PR-BRA

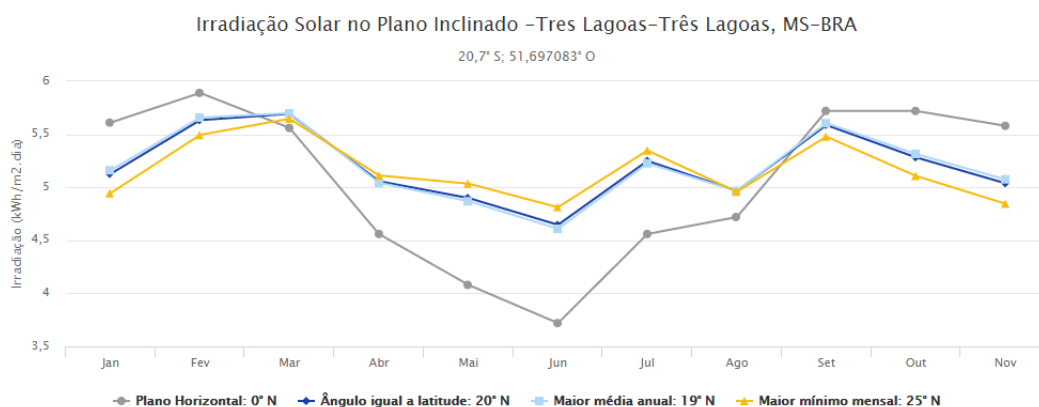


3.2.3 Usina Hidrelétrica de Ilha Solteira

Na imagem abaixo estão dispostos os dados referentes ao município de Três Lagoas, no estado Mato Grosso do Sul, local onde tem a estação de medição mais próxima de onde se encontra instalada a usina hidrelétrica de Ilha Solteira, contemplando assim a parte do estudo voltada a região sudeste do país. O valor médio entre todos os meses da irradiação solar média diária mensal com painéis orientados seguindo o plano horizontal é de 5,01 KWh/m².dia sendo possível observar uma variação moderada no decorrer do ano.

Estação: Três Lagoas
Município: Três Lagoas, MS - BRA
Latitude: 20,7° S
Longitude: 51,697083° O
Distância do ponto de ref. (20,431111° S; 51,338056° O): 47,9 km

#	Ângulo	Inclinação	Irradiação solar diária média mensal [kWh/m ² .dia]												Média	Delta
			Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez		
✓	Plano Horizontal	0° N	5,61	5,89	5,56	4,56	4,08	3,72	4,39	4,56	4,72	5,72	5,72	5,58	5,01	2,17
✓	Ângulo igual a latitude	20° N	5,13	5,63	5,69	5,06	4,90	4,65	5,48	5,25	4,97	5,59	5,28	5,04	5,22	1,05
✓	Maior média anual	19° N	5,16	5,66	5,70	5,04	4,87	4,61	5,44	5,23	4,96	5,61	5,31	5,07	5,22	1,09
✓	Maior mínimo mensal	25° N	4,94	5,49	5,65	5,11	5,03	4,81	5,67	5,35	4,96	5,48	5,11	4,85	5,20	,86



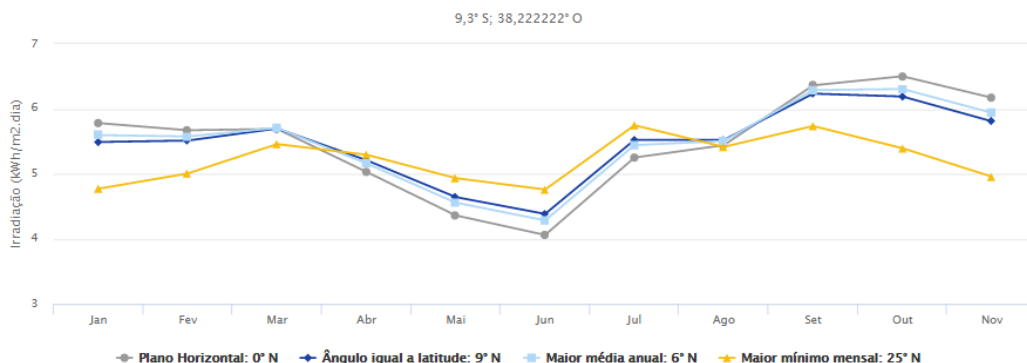
3.2.4 Usina Hidrelétrica de Paulo Afonso

Na imagem abaixo estão dispostos os dados referentes ao município de Paulo Afonso, no estado da Bahia, onde se encontra instalada a usina hidrelétrica de Paulo Afonso, contemplando assim a parte do estudo voltada a região nordeste do país. O valor médio entre todos os meses da irradiação solar média diária mensal com painéis orientados seguindo o plano horizontal é de 5,38 KWh/m².dia sendo possível observar uma variação moderada no decorrer do ano.

Estação: Paulo Afonso
Município: Paulo Afonso, BA - BRA
Latitude: 9,3° S
Longitude: 38,222222° O
Distância do ponto de ref. (9,410833° S; 38,235833° O):12,4 km

#	Ângulo	Inclinação	Irradiação solar diária média mensal (kWh/m².dia)												Média	Delta
			Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez		
✓	Plano Horizontal	0° N	5,78	5,67	5,69	5,03	4,36	4,06	4,31	5,25	5,44	6,36	6,50	6,17	5,38	2,44
✓	Ângulo igual a latitude	9° N	5,49	5,51	5,70	5,21	4,64	4,38	4,63	5,52	5,52	6,23	6,19	5,81	5,40	1,85
✓	Maior média anual	6° N	5,60	5,57	5,71	5,16	4,56	4,28	4,53	5,44	5,50	6,29	6,30	5,94	5,41	2,02
✓	Maior mínimo mensal	25° N	4,77	5,01	5,46	5,29	4,93	4,76	4,99	5,75	5,41	5,73	5,39	4,96	5,20	,99

Irradiação Solar no Plano Inclinado –Paulo Afonso–Paulo Afonso, BA–BRA



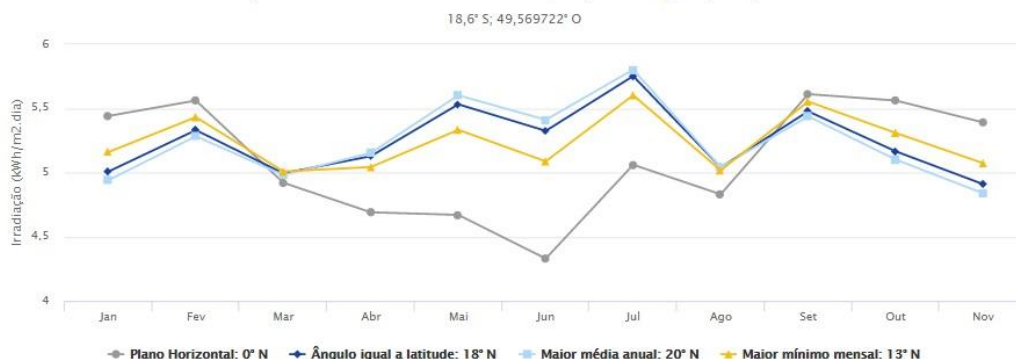
3.2.5 Usina Hidrelétrica de Itumbiara

Na imagem abaixo estão dispostos os dados referentes ao município de Capinópolis, no estado de Minas Gerais, local onde tem a estação de medição mais próxima de onde se encontra instalada a usina hidrelétrica de Itumbiara, contemplando assim a parte do estudo voltada para as regiões sudeste e centro-oeste do país. O valor médio entre todos os meses da irradiação solar média diária mensal com painéis orientados seguindo o plano horizontal é de 5,07 KWh/m².dia sendo possível observar uma variação pequena no decorrer do ano.

Estação: Capinópolis
Município: Capinópolis, MG - BRA
Latitude: 18,6° S
Longitude: 49,569722° O
Distância do ponto de ref. (18,439722° S; 49,215556° O):41,4 km

#	Ângulo	Inclinação	Irradiação solar diária média mensal (kWh/m².dia)												Média	Delta
			Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez		
✓	Plano Horizontal	0° N	5,44	5,56	4,92	4,69	4,67	4,33	4,75	5,06	4,83	5,61	5,56	5,39	5,07	1,28
✓	Ângulo igual a latitude	18° N	5,01	5,33	4,99	5,13	5,53	5,32	5,79	5,75	5,04	5,48	5,16	4,91	5,29	,88
✓	Maior média anual	20° N	4,94	5,28	4,98	5,15	5,60	5,41	5,88	5,80	5,04	5,44	5,10	4,84	5,29	1,04
✓	Maior mínimo mensal	13° N	5,16	5,43	5,01	5,04	5,33	5,09	5,54	5,60	5,02	5,55	5,31	5,07	5,26	,59

Irradiação Solar no Plano Inclinado –Capinópolis–Capinópolis, MG–BRA



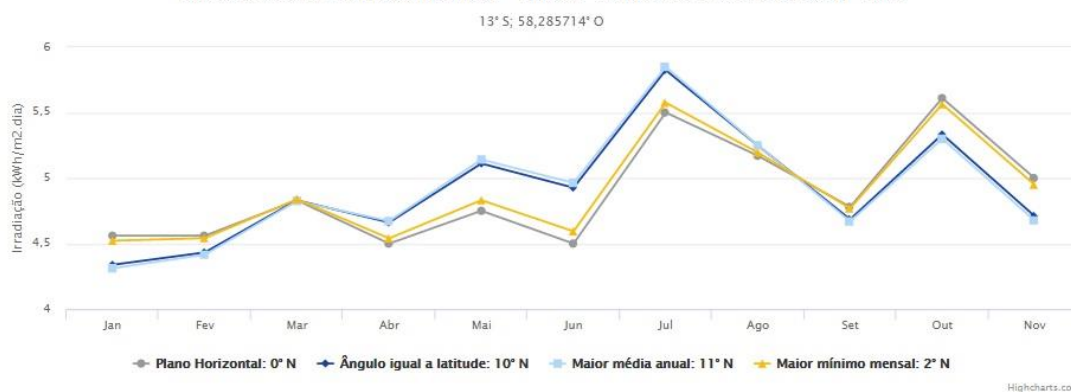
3.2.6 Usina Hidrelétrica de Teles Pires

Na imagem abaixo estão dispostos os dados referentes ao município de Campo Novo do Parecis, no estado do Mato Grosso, local onde tem a estação de medição mais próxima de onde se encontra instalada a usina hidrelétrica de Teles Pires, contemplando assim a parte do estudo voltada para a região centro-oeste do país. O valor médio entre todos os meses da irradiação solar média diária mensal com painéis orientados seguindo o plano horizontal é de 4,90 KWh/m².dia sendo possível observar uma variação pequena no decorrer do ano.

Estação: Utiariti
Município: Campo Novo do Parecis, MT - BRA
Latitude: 13° S
Longitude: 58,285714° O
Distância do ponto de ref. (9,673056° S; 56,480556° O): 419,5 km

#	Ângulo	Inclinação	Irradiação solar diária média mensal [kWh/m ² .dia]												Média	Delta
			Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez		
✓	Plano Horizontal	0° N	4,56	4,56	4,83	4,50	4,75	4,50	5,00	5,50	5,17	4,78	5,61	5,00	4,90	1,11
✓	Ângulo igual a latitude	10° N	4,34	4,43	4,83	4,66	5,11	4,93	5,46	5,82	5,25	4,68	5,33	4,71	4,96	1,49
✓	Maior média anual	11° N	4,31	4,41	4,82	4,67	5,14	4,96	5,50	5,85	5,25	4,67	5,30	4,68	4,96	1,54
✓	Maior mínimo mensal	2° N	4,52	4,54	4,84	4,54	4,83	4,59	5,10	5,58	5,19	4,77	5,56	4,95	4,92	1,05

Irradiação Solar no Plano Inclinado –Utiariti–Campo Novo do Parecis, MT–BRA



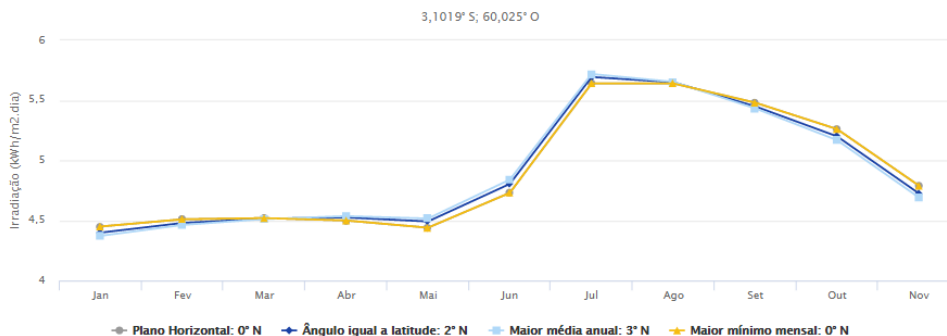
3.2.7 Usina Hidrelétrica de Balbina

Na imagem abaixo estão dispostos os dados referentes ao município de Manaus, no estado do Amazonas, local onde tem a estação de medição mais próxima de onde se encontra instalada a usina hidrelétrica de Balbina, contemplando assim a parte do estudo voltada para a região norte do país. O valor médio entre todos os meses da irradiação solar média diária mensal com painéis orientados seguindo o plano horizontal é de 4,92 KWh/m².dia sendo possível observar uma variação pequena no decorrer do ano.

Estação: Manaus
Município: Manaus, AM - BRA
Latitude: 3,1019° S
Longitude: 60,025° O
Distância do ponto de ref. (2,034444° S; 60,025833° O): 118,8 km

#	Ângulo	Inclinação	Irradiação solar diária média mensal [kWh/m².dia]												Média	Delta
			Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez		
✓	Plano Horizontal	0° N	4,45	4,51	4,52	4,50	4,44	4,73	5,12	5,64	5,64	5,48	5,26	4,79	4,92	1,20
✓	Ângulo igual a latitude	2° N	4,40	4,48	4,52	4,53	4,49	4,80	5,20	5,69	5,65	5,45	5,20	4,73	4,93	1,29
✓	Maior média anual	3° N	4,37	4,46	4,51	4,54	4,52	4,84	5,23	5,72	5,65	5,43	5,17	4,69	4,93	1,35
✓	Maior mínimo mensal	0° N	4,45	4,51	4,52	4,50	4,44	4,73	5,12	5,64	5,64	5,48	5,26	4,79	4,92	1,20

Irradiação Solar no Plano Inclinado –Manaus–Manaus, AM–BRA



3.2.8 Comparativo do Recurso Disponível e do Incremento Produtivo Desejado

Após a análise específica dos dados das regiões de cada uma das usinas observou-se a necessidade de se apresentar uma comparação entre tais informações a fim de se determinar a ordem que se encontram cada caso no que diz respeito ao recurso solar disponível médio, apresentar os valores de potência gerada em cada uma das usinas e qual o valor resulta no incremento máximo de 40% discutido e definido anteriormente.

A tabela abaixo dispõe em ordem decrescente as usinas de acordo com os critérios citados no parágrafo anterior.

Usina	Irradiação Diária Média (Kwh/m².dia)	Energia Gerada (Kwh)	Incremento Máximo-40% (Kwh)
Paulo Afonso	5,38	2.462.400	984.960
Itumbiara	5,07	2.080.500	832.200
Ilha Solteira	5,01	3.444.000	1.377.600
Balbina	4,92	250.000	100.000
Teles Pires	4,90	1.819.800	727.920
Tucuruí	4,78	8.535.000	3.414.000
Itaipu	4,61	7.000.000	2.800.000

Tabela 2: Irradiação Diária Média e Incremento Máximo em cada usina. Fonte: Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito - CRESESB 2016.

3.3 ÁREA DE LAGO À SER COBERTA

Abordou-se nesse tópico a área de lago que será utilizada como referência para a obtenção do incremento produtivo através da instalação de painéis sobre os referidos espelhos d'água. Os valores das variáveis necessárias para a obtenção da área à ser coberta foram estipulados e justificados anteriormente.

Usando como:

$$P = N \times I \times A$$

Usina	Área de lago (m²)	Área coberta (m²)	Fração de evaporação da área coberta (α)
Tucuruí	2.875.000.000	114.276.150	3,9
Balbina	2.360.000.000	3.252.033	0,00137
Itaipu	1.350.000.000	97.180.043	7,19
Ilha Solteira	1.195.000.000	43.995.209	3,68
Itumbiara	778.000.000	26.262.722	3,37
Teles Pires	135.600.000	23.768.816	17,53
Paulo Afonso	12.900.000	29.292.490	227

Tabela 3: Área coberta e percentual de cobertura em cada usina. Fonte: Autor.

Observou-se a necessidade de se elaborar tabelas semelhantes à anterior com os valores máximos e mínimos de irradiação diária, podendo assim observar a variação produtiva que se deverá ter durante um ano e qual seria o impacto em termos percentuais no incremento produtivo.

Para os máximos valores de irradiação diária em cada usinas obteve-se a tabela abaixo:

Usina	Irradiação Diária Máxima (Kwh/m².dia)	Energia Gerada (Kwh)	Percentual de Incremento Produtivo
Paulo Afonso	6,5	1.190.007	48,33%

Itaipu	6,19	3.759.653	53,71%
Ilha Solteira	5,89	1.619.574	47,03%
Balbina	5,64	114.634	45,85%
Itumbiara	5,61	920.837	44,26%
Teles Pires	5,61	833.394	45,80%
Tucuruí	5,53	3.949.669	46,28%

Tabela 4: Irradiação Diária Máxima e Incremento Máximo em cada usina. Fonte: Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito - CRESESB 2016. / Autor.

Para os mínimos valores de irradiação diária em cada usinas obteve-se a tabela abaixo:

Usina	Irradiação Diária Mínima (Kwh/m².dia)	Energia Gerada (Kwh)	Percentual de Incremento Produtivo
Itaipu	2,86	1.737.093	24,82%
Ilha Solteira	3,72	1.022.889	29,70%
Tucuruí	3,92	2.799.766	32,80%
Paulo Afonso	4,06	743.297	30,19%
Itumbiara	4,33	710.735	34,16%
Balbina	4,44	90.244	36,10%
Teles Pires	4,50	668.498	36,73%

Tabela 5: Irradiação Diária Mínima e Incremento Mínimo em cada usina. Fonte: Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito - CRESESB 2016. / Autor.

4 RESULTADOS

Como resultado esperado, o percentual da redução da eficiência de evaporação energético foi obtido para todas as regiões abordadas através da fórmula de eficiência de evaporação citada no item 2.2 , usando área encontrada na fórmula exemplificada no tópico 3.5, valores médias de irradiação mensal e com 15% como valor para a eficiência dos painéis .

Usina	Área de lago (m²)	Área coberta (m²)	Fração de evaporação da área descoberta (×)	Redução de eficiência de evaporação (ε)
Tucuruí	2.875.000.000	114.276.150	96,1	80,25%
Balbina	2.360.000.000	3.252.033	99,99863	99,00%
Itaipu	1.350.000.000	97.180.043	92,81	73,18%
Ilha Solteira	1.195.000.000	43.995.209	96,32	80,81%
Itumbiara	778.000.000	26.262.722	96,63	81,64%
Teles Pires	135.600.000	23.768.816	82,47	58,13%
Paulo Afonso	12.900.000	29.292.490	-127	-

Tabela 6: Fração de evaporação da área descoberta e a Redução de eficiência de evaporação. Fonte: Autor.

Especificamente para o caso da Usina de Paulo Afonso, não foi possível obter o percentual de redução de eficiência de evaporação uma vez que para obter o percentual de incremento produtivo desejado na usina seria necessário cobrir uma área maior que a de lago disponível no empreendimento em questão. Tal fato pode ser explicado pela forma característica que o reservatório em questão possui, com uma pequena área de lago disponível.

É possível observar que os maiores valores obtidos correspondem aos casos onde se o menor valor em termos percentuais da área de lago disponível. Essa constatação vai de encontro com o que Assouline et al. (2010) afirma em seu estudo, que os sistemas com mais de um orifício com contato com a atmosfera tendem a perder a redução de eficiência de evaporação quanto maior forem os mesmos.

A seguir é apresentado o percentual de influência da potência solar local e a potência gerada pelas usinas com os sistemas atuando com os valores máximos de irradiação ao longo do ano:

Usina	Irradiação Diária Máxima (Kwh/m².dia)	Percentual de Incremento Produtivo
Paulo Afonso	6,5	48,33%
Itaipu	6,19	53,71%
Ilha Solteira	5,89	47,03%
Balbina	5,64	45,85%
Itumbiara	5,61	44,26%

Teles Pires	5,61	45,80%
Tucuruí	5,53	46,28%

Tabela 7: Irradiação Diária Máxima e o Incremento Produtivo. Fonte: Autor.

A seguir é apresentado o percentual de influência da potência solar local e a potência gerada pelas usinas com os sistemas atuando com os valores mínimos de irradiação ao longo do ano:

Usina	Irradiação Diária Mínima (Kwh/m².dia)	Percentual de Incremento Produtivo
Paulo Afonso	4,06	30,19%
Itaipu	2,86	24,82%
Ilha Solteira	3,72	29,70%
Balbina	4,44	36,10%
Itumbiara	4,33	34,16%
Teles Pires	4,50	36,73%
Tucuruí	3,92	32,80%

Tabela 8: Irradiação Diária Mínima e o Incremento Produtivo. Fonte: Autor.

Pode-se observar que a variação do incremento produtivo ao longo do ano é considerável, em alguns casos se aproximando a 30%. Tal fato traz para a discussão como se deve mensurar a potência gerada levando em conta os limites máximos e mínimos de produção alternativa em relação com os valores que são surpotados e/ou requeridos em cada uma das Usinas Hidrelétricas analisadas.

5 CONCLUSÃO

Analisando os resultados obtidos e revisando o conhecimento absorvido das referências bibliográficas adotadas é possível afirmar que o trabalho se propôs a avaliar o percentual de redução de evaporação e encontrou resultados que aparentam estar em conformidade com a teoria utilizada como referência.

De forma objetiva é possível tomar como considerações finais:

- A redução da eficiência de evaporação está diretamente ligada à área que se cobre com os painéis;
- A potência gerada apresenta valores consideráveis de variação ao longo do ano, o que deve ser cuidadosamente avaliado ao se utilizar sistemas como o proposto em estudo;
- Para cada caso analisado deve se obter os percentuais de segurança em que todos os equipamentos que compõe a estrutura de operação da Usina Hidrelétrica em análise foram dimensionados;
- Para um estudo mais abrangente deveria se obter os valores de evaporação dos lagos por inteiro para efeito de comparação com os valores encontrados.

Conclui-se que todas as informações obtidas para confecção e análise do presente trabalho possibilitaram obter resultados que emitem pareceres que seguem a linha de raciocínio proposta para todas as usinas, não sendo excludente o fato de que para levar um projeto como o proposto mais adiante deve-se levar em conta informações colhidas in loco e demais especificidades.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. *Atlas de Energia Elétrica do Brasil*, 2016.

ASSOULINE, S., NARKIS, K. *Evaporation from partially covered water surfaces*, Water Resource, Res. 46, 2010.

COOLEY, K. R. *Energy relationships in the desing of floating covers for evaporation recuction*. Water Resource, Res. 6, 1970.

ELETROBRÁS. *Plano Nacional de Energia Elétrica 1993-2015* , Vol II. 1994

EPE – Empresa de Pesquisa Energética. *Energia Renovável*. 2016

GALDINO, M. A. E.; OLIVIEIRI, M. M. A. *Some Remarks about the Deployment of Floating PV Systems in Brazil*. Centro de Pesquisas de Energia Elétrica, Rio de Janeiro, 2015.

KOHLER, M. A.; NORDENSEN, T. J.; *Evaporation from pans and lakes*, U.S. Weather Bureau Research, n. 38, p. 1-21, 1955. (Paper 38).

LINACRE, E.T. *Data-sparse estimation of lake evaporation using a simplified Penman equation*. Elsevier Science Publishers B.V. Agricultural and Forest Meteorology, v. 64, p. 237-256, 1993.

MME – Ministério de Minas e Energia. *Boletim Energético Mensal*. 03/2017.

KAN, A.; DIAS, N. L. *Evaporação, evapotranspiração e evaporação líquida no reservatório de Foz do Areia*. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v.4, n.3, 1999.

PENMAN, H. L. *Natural evaporation from open water, bare soil and grass*. Proceedings of the Royal Society, v. 193, 1948.

SCHULTZ, R. *Estudo De Pré-Viabilidade De Um Sistema Híbrido De Aproveitamento Do Potencial Fotovoltaico E Hidrelétrico Proveniente Da Vazão Ecológica De Uma PCH – Estudo De Caso PCH Guarita*. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2014.

PEREIRA, S. B.; PRUSKI, F. F.; SILVA, D. D.; RAMOS, M. M.; *Evaporação líquida no lago de Sobradinho e impactos no escoamento devido à construção do reservatório*. Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2006.

WURBS, R. A.; AYALA, R. A. *Reservoir evaporation in Texas, USA*. Journal of Hydrology, v. 510, p. 1-9, 2014

WHITE, D. R. *World water: Resources, usage and the role of man-made reservoirs, A review of current knowledge*, Foundation for Water Research, Bucks, United Kingdom